

Historias de Ballenas [1]

Ignacio Costales Calvo.¹

Palabras clave: Esqueleto, Ballena, Diseño Estructural, Estructura Tensada, Sistema no Lineal, Estructura Ligera, Puesta en Obra.

Resumen: Los consultores de estructuras generalmente recibimos encargos de edificación que resultan muy parecidos unos con otros, pareciendo a veces monótonos. A veces recordamos con cariño situaciones peculiares de estos encargos, como cuando encontramos una bomba de la guerra civil o un esqueleto. Cuando descubrimos una galería no documentada, o cuando no sabemos cómo funciona el esquema estructural de un edificio que rehabilitamos, compuesto por viguetas que no son habituales. O cuando podemos investigar algún material poco documentado o cuando definimos un proceso constructivo poco habitual. Llega un día en el que recibimos un encargo que será uno de los que recordaremos siempre, y que contaremos a nuestros hijos y nietos sin resultar excesivamente pesado para ellos. En el documento se explican tres historias de ballenas que vivió personalmente el autor, entre los años 2010 y 2017.

La primera historia sucedió hace ahora unos nueve años, cuando recibí un mail donde me preguntaban sobre cómo veía colgar una Ballena del techo del edificio Fórum 2004, en Barcelona. Durante los años 2001 y 2003, tuve la fortuna de poder colaborar muy activamente en el diseño y construcción de este edificio. Recuerdo que respondí: *depende de si la Ballena “va llena” o no*. En aquel momento no sabía cuánto pesan los huesos de una Ballena, ¿quién sabe cuánto pesan exactamente su esqueleto?² La respuesta trataba de explicar que si se trataba de colgar únicamente los huesos, habría que analizar su peso, y los efectos de la estructura sobre el techo. Pero si se trataba de una maqueta a escala 1:1 de una Ballena, dependería del material usado, aunque seguramente los límites del transporte condicionarían previamente su peso. Finalmente quedó claro que se trataba únicamente de su esqueleto.

El peso total de una Ballena en el mar, depende de la especie: una Ballena Azul, el mayor de todos, puede llegar a las 140 toneladas. Tan sólo su corazón puede pesar 180kg. El esqueleto en cuestión, sin embargo, pertenece a la segunda especie mayor: es un Rorcual Común (MZB 83-3084 Balaenoptera physalus). Mide 18,3m, y pesa aproximadamente 1.200kg. Resultando más pesados los huesos de su cabeza: 483kg repartidos en unos 4m, luego su tórax: unos 367kg repartidos en 4,3m, y por último su cola: unos 310kg repartidos casi uniformemente en 10m. De los datos anteriores se puede entender que estamos hablando de cargas lineales de entre 121kg/m y 31kg/m, acciones menores al peso de un tabique cerámico.

¹ Doctor Arquitecto. BEST Costales Jaén SLP. Profesor asociado ETSAV. Laboratori d’Innovació i Tecnologia a l’Arquitectura - Universitat Politècnica de Catalunya (UPC-BarcelonaTech), Barcelona (España). Persona de contacto: nacho.costales@upc.edu ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5746-2351>

² El esqueleto de un ser humano pesa aproximadamente el 15% del peso total, y está formado por unos 206 huesos.

La Ballena, a la que posteriormente bautizaron como “Balena Brava” por votación popular en el año 2013, varó en la playa de Llançà hace ahora unos 157 años, concretamente el 11 de junio de 1862[2]. El vertebrado permaneció en el Museu del Parc de la Ciutadella hasta el año 2010, cuando se decidió desmontar el esqueleto para trasladarlo al nuevo emplazamiento. Antes de recibir el encargo, el esqueleto se encontraba en proceso de restauración. Había sufrido daños, algunos de ellos causados por el paso del tiempo. Los huesos de la columna se encontraban unidos unos con otros en contacto directo, por lo que se habían eliminado los espacios de los discos intervertebrales. Recuperar el espacio de estos discos, supuso que el esqueleto creció un metro en el traslado. El esqueleto se encontraba en posición recta: esta posición es anti natural, puesto que el animal suele permanecer ligeramente doblado para poder nadar.

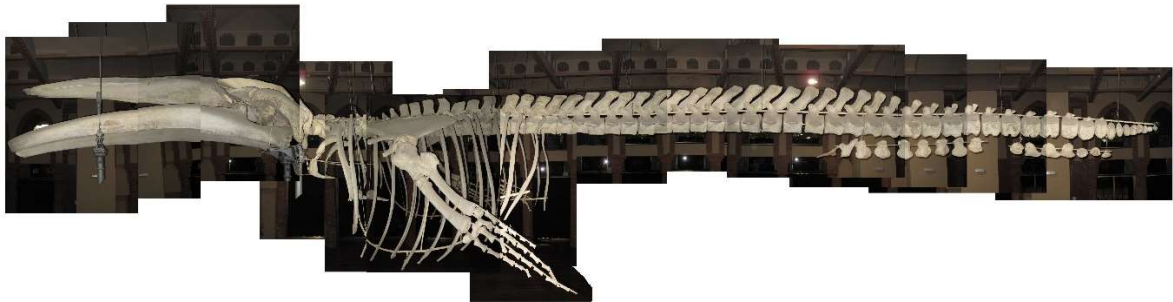


Imagen 1. El esqueleto en su posición en el Museu del Parc de la Ciutadella. En la imagen se puede apreciar la ausencia de los discos intervertebrales.

El despacho de arquitectos responsable del diseño y posición del esqueleto en el museo fue “Herzog & de Meuron”, que decidió que se dispusiese de una manera curva. La cabeza queda en el nivel bajo mientras que la cola queda en el nivel superior, aparentando que el animal se sumerge buscando el mar que se encuentra muy próximo al acceso principal del museo. Así, todo el eje de la columna vertebral del esqueleto forma un plano, que se propone además inclinado, por lo que el centro de gravedad del conjunto queda fuera del mismo.

Que el esqueleto se incluya en un plano inclinado es un problema a nivel estructural porque los elementos de soporte deben de resistir no solamente acciones verticales, también horizontales, para que el conjunto quede estabilizado.

La posición resulta muy atractiva porque los visitantes, cuando entran por primera vez por la puerta del Museu, se encuentran al vertebrado dirigiéndose hacia ellos. Algunos niños no se dan cuenta y son sus padres los que tiene que advertirles de lo que hay encima de su cabeza. Desde el primer piso también se puede observar los huesos de la espalda y de la cola.³

El techo es una estructura bidireccional de 4m de canto, que forma parte del edificio Fòrum 2004, formado por vigas metálicas en celosía en dos direcciones ortogonales entre sí, que tienen montantes compartidos cada 6m. En el cordón superior hay un tablero de hormigón que forma el techo del edificio. En el cordón inferior hay otro tablero igual que hace de suelo, que es la planta técnica del edificio, que es desde el que se colgará la Ballena. Como los espacios entre las vigas que resultan tienen dimensiones de 6x6m², existe un parteluz central

³ El esqueleto puede ser visitado sin la necesidad de entrada, puesto que está situado en el acceso principal, antes de las taquillas. Cabe decir que la visita del museo es muy recomendable para niños y también para mayores. Existe además una gran oferta de actividades y exposiciones temporales que varían con frecuencia.

en cada vano. El eje en planta del esqueleto de la Ballena no sigue los ejes principales de la estructura del techo.

La estructura que se utilizó para colgar el esqueleto, está formada por un tubo principal de 44mm de diámetro y de 2,7mm de pared, que se inserta dentro de las vértebras realizando previamente un taladro en cada una de ellas, y por cuatro haces de cables que se colocan en el techo. Además se preparó una estructura también metálica que da soporte al esqueleto de la cabeza, a la que denominamos silla, puesto que en esta zona es donde se concentran los huesos más delicados. El diseño del conjunto recuerda a un ideograma “Kai Kai” [3] sujeto por cuatro dedos de un niño, mientras estira sus dedos para comprobar que el juego puede continuar. Concretamente es un tubo pequeño, pretensado por cables para que no pandee.

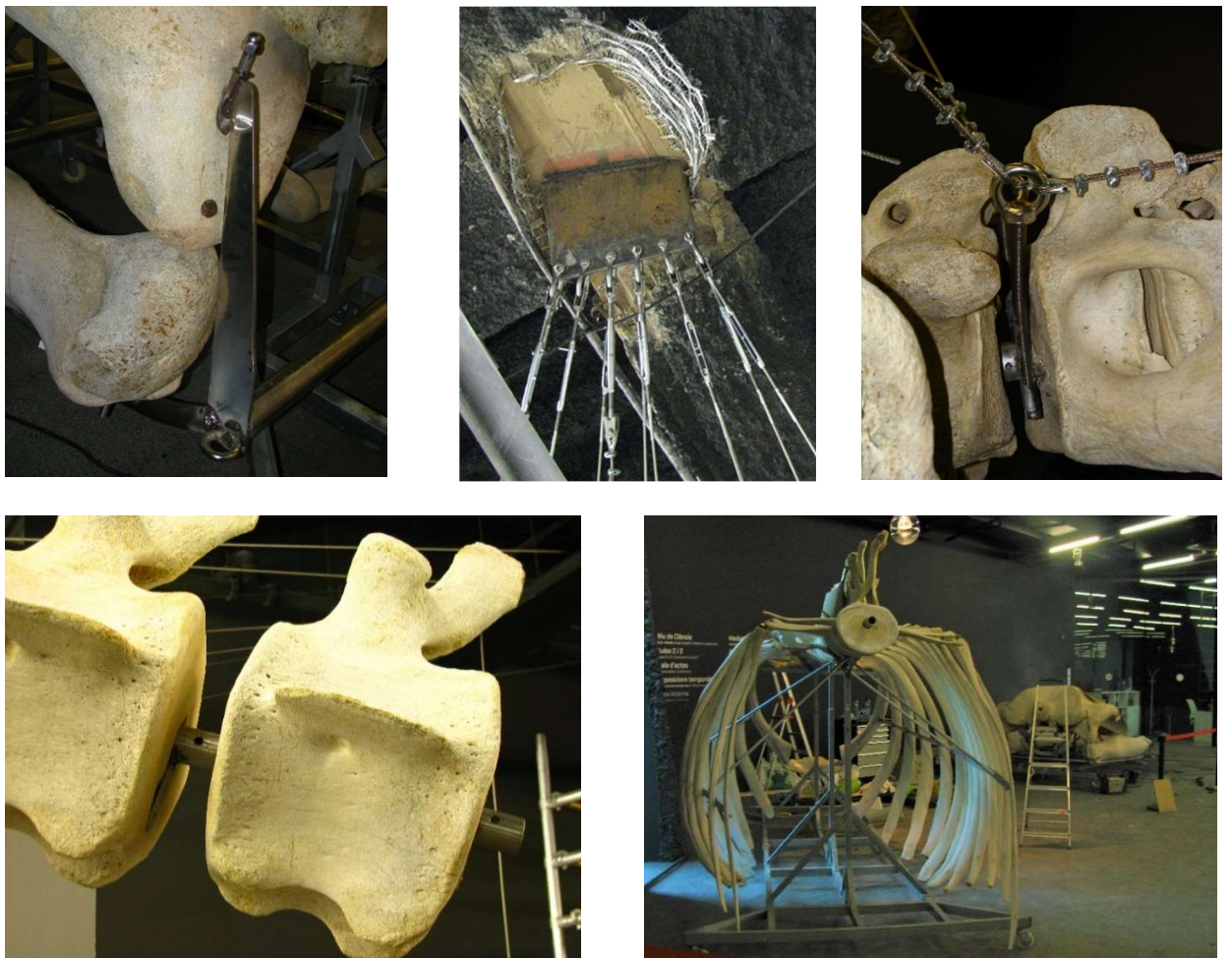


Imagen 2. Algunos detalles de la estructura.

La instalación se llevó a cabo en un fin de semana. El viernes por la tarde, después de cerrar el museo, colocaron los andamios y comenzaron a soldar las cuatro chapas en el techo, donde convergen los cuatro haces de cables. También se aprovechó para completar el material de la estructura, puesto que faltaban algunos tensores. Se subió una grúa móvil en el montacargas, que serviría de ayuda para situar cada parte del esqueleto en su posición final. Antes se estimó si tanto el forjado como el montacargas eran válidos para el uso de la grúa.

El sábado se pudo montar casi la totalidad del esqueleto. Las piezas venían separadas en “brochetas” más cortas que se machihembraban entre sí, mediante dos pasadores que se situaban entre dos discos intervertebrales. En total existían quince puntos de soporte en el esqueleto, que quedaban unidos mediante los cables. Lo más complicado fue tensar los cables sin provocar tracciones añadidas a la estructura. La última pieza que se colocó fue la cabeza por ser la más pesada. La grúa se quedó al límite de capacidad, de distancia, y de altura, pero la pieza quedó en su posición exacta.

Por la noche quedó colocada la cabeza lo que suponía el fin de la parte delicada del trabajo. A los técnicos nos sorprendió como a una trabajadora del museo se le saltaban las lágrimas viendo el esqueleto por fin situado, dos años después, en su posición final. El proyecto fue sin duda una experiencia inolvidable: todos los encargos tienen algo especial, pero éste es de los que sin duda recordaré siempre. Se trata de una estructura existente, que soporta a otra estructura, de la que se suspende la estructura de una Ballena, su esqueleto: ¿qué más puede pedir un consultor de estructuras? Por aquel entonces pensaba que pocos consultores tienen la fortuna de calcular la estructura de soporte del esqueleto de una Ballena.

El domingo se colocaron las manos en posición abierta, separadas del tórax, para dar a entender que la Ballena estaba nadando, y se retiró el andamio. También se hicieron trabajos de reposición de vermiculita y cortes de cables sobrantes.

La segunda historia se compone en realidad de tres curiosidades no estructurales que aprendí sobre las Ballenas durante el anterior proyecto, y que sirven de intermedio al artículo:

- Mocha Dick fue un cachalote macho, de grandes dimensiones, que fue capturado y muerto en 1838, tan sólo 24 años antes de que la Ballena Brava varase. Posiblemente los dos animales marinos se conociesen en el mar. Fue el responsable de hasta 100 incidentes documentados con barcos, entre los que se encuentra el hundimiento del Ballenero Essex, en 1820. Inspiró a Herman Melville[4], en 1851, a escribir la famosa novela “Moby-Dick”.

- Muchas veces se ha usado el término “Ballena Asesina” para referirse a las Orcas. Curiosamente las Orcas (*Orcinus Orca*) y las Ballenas (*Megaptera novaeavgliae*) pertenecen a especies distintas de mamíferos marinos, por lo que no son Ballenas. Así mismo las Orcas no suelen mostrarse intranquilas ni asesinas con el hombre, si no es en cautividad y siempre como respuesta a un trato hostil, por ejemplo de duro adiestramiento. Actualmente se están liberando la mayoría de las Orcas que estaban en cautividad, porque se ha demostrado que su adiestramiento crea una situación peligrosa para público y cuidadores. El error proviene de una mala traducción del español al inglés: en el Siglo XVIII se tuvo constancia del ataque de Orcas a Ballenas, por lo que los balleneros españoles se referían a ellas con el término “asesina-Ballenas”, que mal traducido al inglés, pasó a ser “Killer Whales” en vez de “Whale Killers”. A la inversa también se tiene conocimiento de ataque de Ballenas a Orcas, concretamente en defensa de otras especies, como sucede en defensa de las focas. [5]

- Una de las diferencias más reconocibles entre las especies, es que las Ballenas no tienen dientes, concretamente tienen “barbas” para filtrar su comida, generalmente Krill o arenques. Sin embargo las Orcas, los delfines, los cachalotes, sí tienen. Se han escrito muchas historias sobre Ballenas y hombres, la mayoría fantásticas: Simbad, Jonás, San Brandán, Luciano de Samósata, el Varón de Münchhausen o Pinocho. Sobre la última historia, en la versión cinematográfica de Walt-Disney de 1940, la Ballena que persigue a Pinocho y a Gepeto en el mar tiene dientes, por lo que se trata de un error muy grave del

equipo técnico de la película. Curiosamente en la novela original de Pinocho, escrita por Carlo Collodi en 1943, era un tiburón el que engullía a ambos personajes. Son muchos los cuentos para niños que cometen este error en sus viñetas.

La **tercera** y última historia, empieza una mañana de marzo de 2017, cuando recibo una llamada que me solicita calcular el soporte de un esqueleto de una cría de Ballena. Lo que me vino rápidamente a la cabeza fue aquella impresión de que pocos consultores tendrían la fortuna de recibir un encargo como aquel. Este trabajo fue menos intenso que el anterior, aunque si fue apasionante, porque se trataba de la cría de Ballena que varó en Mataró el 3 de Marzo de 1977[6], cuando posiblemente se separase de su madre por causas aún no conocidas. Fue trasladada rápidamente al Club Náutico de la ciudad, y cuando pudieron ser conservados sus huesos, fue expuesta en 1984 en Can Serra con el título “La Balena de Mataró” Se sabe que en las rutas migratorias de los cetáceos, pasan delante de las costas del Maresma. La exposición que se preparaba en 2017 se llamaría “El viatge de la Balena de Mataró” para conmemorar el 40 aniversario de su muerte, y para tratar de dilucidar las causas.

El esqueleto mide 10,5m, pese a que el animal tan sólo tenía menos de un año de vida cuando falleció. Pesaba 1.100kg, contaba con una serie de orificios ya practicados que se habían practicado para ser sostenida en su anterior soporte: una estructura un poco inestable y peligrosa al alcance de la mano. Por lo tanto había que reutilizar estos orificios para pasar pequeños tensores soportados sobre una estructura. Entre las aletas superiores de cada vertebra, se insertó un tubo de 40mm de diámetro, no siendo necesario realizar ningún taladro adicional en los huesos. En el tubo se unían todos los tensores comentados anteriormente, y se machihembró como en el caso del esqueleto del Fórum.

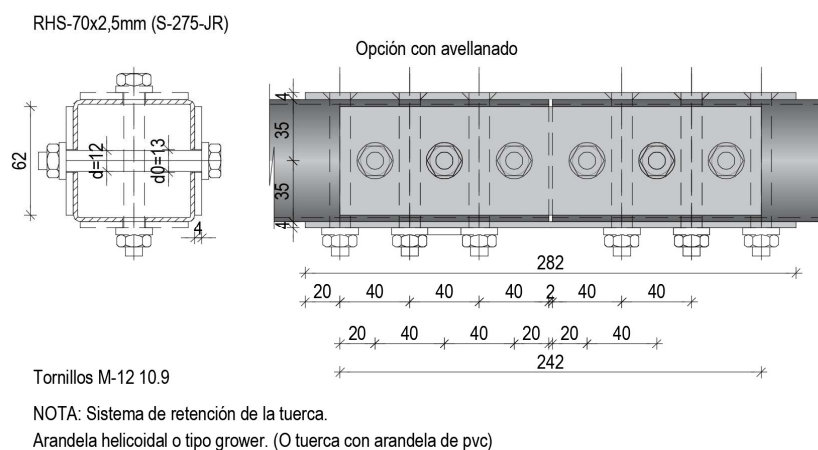


Imagen 3. Detalle de unión de los tubos mediante tornillos.

Los primeros diseños trataban de colgarlo del techo y/o de las paredes, porque el edificio donde se hizo la exposición temporal, Can Serra, tiene una estructura muraria apta para resistir acciones horizontales de baja intensidad. Al final se optó por construir una estructura metálica exenta en forma de caja. La caja tenía 11,6m x 2,25m x 3m de altura, y estaba unida mediante tornillos y cubrejuntas, para que pudiese ser usada en otras exposiciones, así como para ser almacenada sin problemas. Todos los tubos eran RHS-70mm, considerando las intersecciones como nudos rígidos. Las chapas fueron unidas mediante tornillos largos y cabezas avellanadas para evitar chapas frontales. El peso de la estructura llegó a alcanzar los 850 kg incluyendo los paneles, menos que el del esqueleto.

La exposición solicitaba que la estructura previese la aplicación de una carga accidental sobre ella de 100kg/m, concretamente sobre los paneles informativos, a pesar de que fueron contruidos con un material débil que, en caso de recibir una carga moderada, cediese fácilmente. En condición no accidental, la reacción normal máxima en ELS, no alcanzaría los 266kg en la pata más solicitada, pero esta acción quedaría suavizada sobre el marco inferior que sería el encargado de repartir las acciones sobre el suelo, evitando el punzonamiento, y también la necesidad de disponer chapas de anclaje. Afortunadamente los huesos tienen la particularidad de permitir el movimiento del animal, y si le añadimos la flexibilidad de los cables, la rigidez del conjunto resultaría muy baja, y en caso de movimiento o de choque leve, no habría riesgo de daño para el conjunto.

Cabe decir que el modelo fue realizado en cálculo no lineal de acciones, y pese a buscar triangulaciones en ambas direcciones horizontales, evitando que se generase un columpio, fue necesario considerar un apoyo horizontal ficticio en el centro del esqueleto, para evitar que el programa lo considerase como un mecanismo en todas las hipótesis combinadas. El tubo central era de débil rigidez transversal y el programa detectaba desplazamientos ligeramente mayores a los que tenía limitados en la definición de cálculo. En la exposición no hubo problemas derivados por esta condición, habiendo reservado la posibilidad de incluir un plano de arriostramiento vertical central, en caso de que resultase excesivamente flexible.

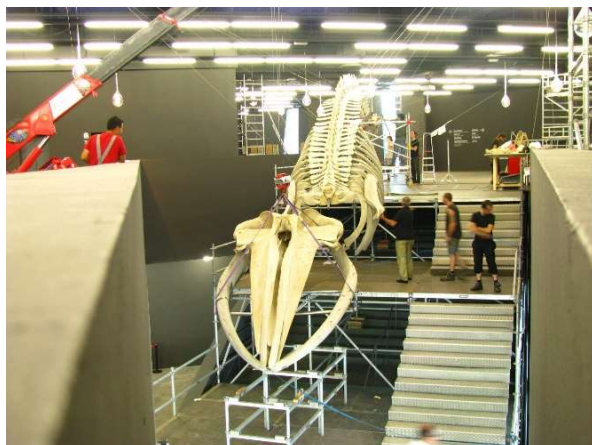


Imagen 4. Dos vistas del montaje de las dos estructuras.

NOTA: La voluntad del autor ha sido redactar un artículo “no técnico” de los dos encargos. En caso de que el lector esté interesado en saber más, se recomienda la lectura complementaria de la fuente bibliográfica [1], que se adjunta al final del documento.

AGRADECIMIENTOS:

FORUM: Mi agradecimiento personal a la firma de Arquitectos Herzog & de Meuron. A Miquel del Río Sanín, por su continuo apoyo en el proceso de diseño y de montaje de la estructura. A Anna Omedes i a Eulàlia Garcia Franquesa del Museu de Ciències Naturals de Barcelona. A Robert Brufau i Niubó. A Santiago de León Molina, Arquitecto Técnico de la obra. A GROU y a GEA, responsables también de la puesta en obra del proyecto.

MATARÓ: A Cristina Moreta de Las Gardenias.

EN GENERAL: A Josep Gómez-Serrano, a Antonio Aguado de Cea y a la Associació de Consultors d'Estructures.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] I. Costales Calvo, "La ballena vuelve al museo.," *Inf. la construcción*, vol. 69, no. 546, p. 13.
- [2] E. García, "'La balena ja ha arribat al Museu Blau,'" *Museu de Ciències Naturals de Barcelona*. [Online]. Available: www.blogmuseuciencies.org/wp-content/uploads/20110712dosspremsabalenadoc.pdf.
- [3] L. Pignet, "Kai Kai: Tradition and Innovation on Rapa Nui.," in *Proceedings of the 5th International Conference on Easter Island and the Pacific.*, 2001, pp. 373–376.
- [4] H. Parker, *Herman Melville: A Biography*. London : The Johns Hopkins University Press 2715 North Charles Street, 1996.
- [5] E. Garcés and D. Closa, *100 secrets dels oceans*, 1 edició. Valls: Cossetània Edicions.
- [6] "Can Serra exposa la balena de Mataró i explica els 40 anys de l'antiga Secció de Ciències Naturals," *28/04/2017*, 2017. [Online]. Available: http://www.mataro.cat/portal/contingut/noticia/2017/04/13370_viatge_balena.html. [Accessed: 10-Feb-2019].